

Schallentstehung durch anisotrope Zuströmturbulenz

Thomas Geyer, Ennes Sarradj, Marcus Hobracht

Lehrstuhl Technische Akustik, BTU Cottbus-Senftenberg, 03046 Cottbus, Deutschland, Email: thomas.geyer@tu-cottbus.de

Einleitung

Die Interaktion einer turbulenten Strömung mit einem Hindernis ist ein dominierender Schallentstehungsmechanismus, zum Beispiel in Rotor-Stator-Anordnungen. Dementsprechend gibt es zu dieser Fragestellung eine Vielzahl von theoretischen und einige experimentelle Untersuchungen. Zur Schallvorhersage existieren dabei neben numerischen Modellen auch eine Reihe einfacher analytischer Modelle. Diese basieren in der Regel auf der Annahme einer ebenen Platte in einer ideal homogenen und isotropen Zuströmturbulenz, ein Umstand, der in realen Anwendungen jedoch meist nicht vorausgesetzt werden kann. Es stellt sich daher die Frage, ob diese Annahmen die Gültigkeit der Modelle in der Praxis einschränken.

Schallvorhersage

Ein sehr einfaches, aber trotzdem sehr weitverbreitetes Modell zur Vorhersage der Vorderkantenschallentstehung ist das Modell von Amiet [1]. Es wurde zur Berechnung der Schallentstehung an der Vorderkante einer ebenen, flachen Platte in einer isotropen, turbulenten Strömung entwickelt und lässt sich in seiner einfachsten Form durch

$$L_p = 10 \cdot \lg \left[\frac{\Lambda_x h}{R^2} M^5 \frac{\overline{u^2}}{U^2} \frac{\hat{K}_x^3}{(1 + \hat{K}_x^2)^{7/3}} \right] + 181,3 \text{ dB} \quad (1)$$

beschreiben. Eingangsgrößen für die Berechnung sind die Turbulenzintensität $\sqrt{\overline{u^2}}/U$, die integrale Längenskala Λ_x , die Machzahl $M = U/c$, die Halbspannweite h der Platte, ein Beobachter- bzw. Mikrofonabstand R und eine normierte Wellenzahl \hat{K}_x .

Im Folgenden soll die Anwendbarkeit dieses Vorhersagemodells für die Schallentstehung in inhomogener, anisotroper Turbulenz untersucht werden. Zu diesem Zweck erfolgten Experimente im aeroakustischen Freistrahlschwindkanal der BTU Cottbus, wobei durch ein Rechteckgitter (Strebenbreite 2 mm, Lochweite 10 mm) vor der Düse eine turbulente Strömung erzeugt wurde. Mit Hilfe von Hitzdrahtmessungen mit Eindraht- und Vierdrahtsonden wurden die für Amiets Modell benötigten turbulenzbeschreibenden Größen in zwei Abständen vom Gitter bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 40 m/s gemessen (siehe Bild 1). In größerer Entfernung vom Gitter kann davon ausgegangen werden, dass die Turbulenz in guter Näherung homogen und isotrop ist [2], während diese Annahme in geringerer Entfernung vom Gitter nicht mehr gerechtfertigt ist.

In beiden Gitterabständen (86 mm und 200 mm) wurden in einer Ebene senkrecht zur Strömung an 325 Messpunk-

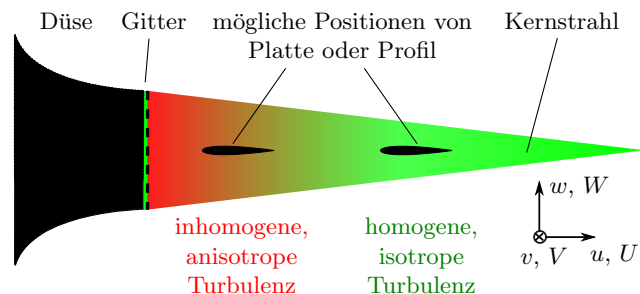


Bild 1: Schema des Versuchsaufbaus

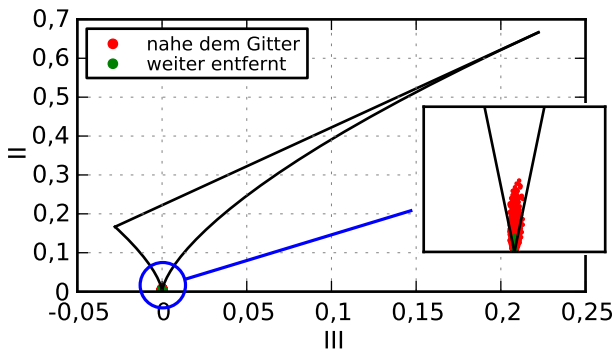
ten Hitzdrahtmessungen mit der Autokorrelationsmethode durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigen, dass in 200 mm Entfernung zum Gitter die Turbulenz nahezu isotrop und homogen ist, während sie in 86 mm Entfernung zum Gitter anisotrop (siehe Bild 2(a)) und inhomogen (Bild 2(b)) ist.

Aus den gewonnenen Messdaten wurden in einem nächsten Schritt für beide Abstände der Turbulenzgrad sowie die integrale Längenskala berechnet, welche anschließend in das Amiet-Modell (Gleichung 1) eingesetzt wurden. Dabei zeigte sich, dass sich im vorliegenden Fall auch für inhomogene, anisotrope Turbulenz bereits ab etwa 25 Messpositionen ein ausreichend stabiler Mittelwert des berechneten Terz-Schalldruckpegels ergibt.

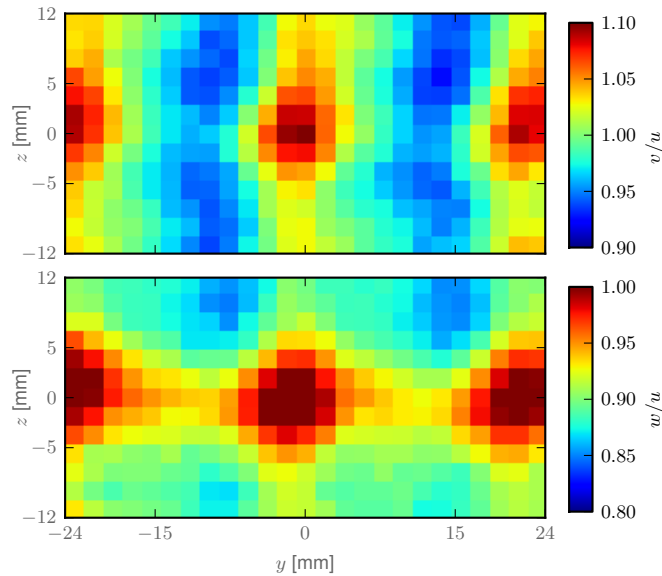
Vergleich mit Messungen

Zur Validierung der Schallvorhersage wurde die Schallentstehung an der Vorderkante einer ebenen, flachen Platte (Dicke 0,5 mm, Spannweite 10 cm, Sehnenlänge 20 cm) sowie an einem NACA0012-Tragflügelmodell (Spannweite 10 cm, Sehnenlänge 12 cm) mit einem oberhalb des Freistrahls positionierten Mikrofonarray gemessen (Bild 3). Zur Auswertung wurden die Messdaten mit dem CLEAN-SC-Algorithmus [4] weiterverarbeitet. Durch Integration über einen rechteckigen Sektor in den resultierenden Schalldruckpegelkartierungen wurden Schalldruckpegelspektren in Terzbändern berechnet. Dabei enthielt der gewählte Integrationssektor nur die Schallquellen an der Vorderkante der Platte bzw. des Profils, aber keine ungewollten Störquellen.

Der Vergleich zwischen Vorhersage und Messung ist in Bild 4 gezeigt. Es ist ersichtlich, dass das Modell für die ebene Platte sowohl in homogener, isotroper Turbulenz als auch in inhomogener, anisotroper Turbulenz durchaus verwendbar ist, mit Abweichungen zwischen Modell und Messung im Bereich von etwa 3 dB. Die Unterschiede zwischen den Kurvenpaaren sind dabei durch den mit zunehmendem Abstand zum Gitter geringer werdenden Turbulenzgrad begründet. Für das NACA0012-Profil funktioniert die Dickenkorrektur nach Gershfeld [5] zu-



(a) Invariantkarte des Anisotropietensors (bei ideal isotroper Turbulenz sollten die Messdaten im Ursprung liegen [3])



(b) Verhältnisse der turbulenten Schwungungsgeschwindigkeiten (Definition der Komponenten siehe Bild 1) für die gitternahe Messung in einer Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung (Inhomogenität in Form der Gittermaschen deutlich erkennbar)

Bild 2: Gemessene Eigenschaften der Turbulenz

mindest für den Fall der isotropen, homogenen Turbulenz. Darüber hinaus zeigte die Untersuchung, dass die Hitzdrahtmessung mit Eindrahtsonde und Vierdrahtsonde ähnliche Vorhersageergebnisse ermöglicht.

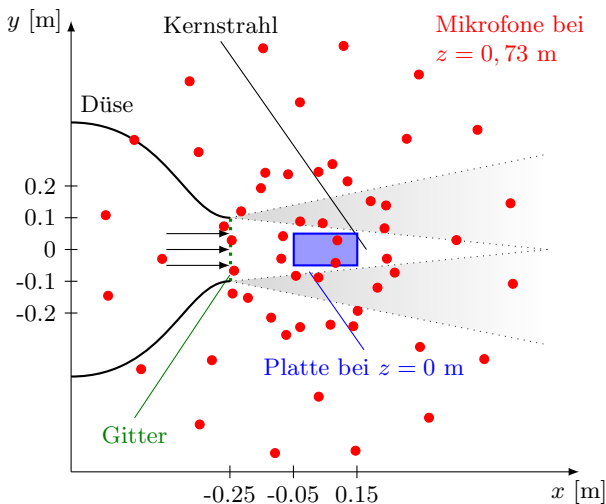
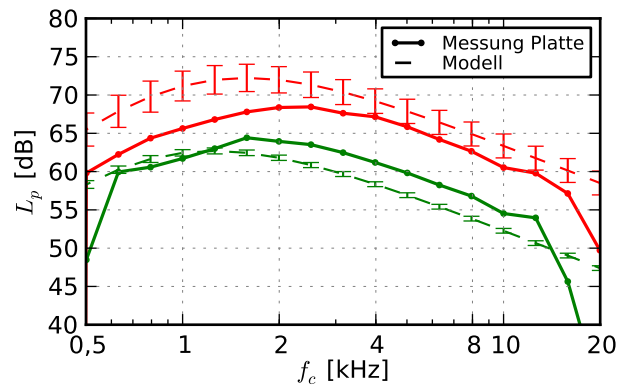
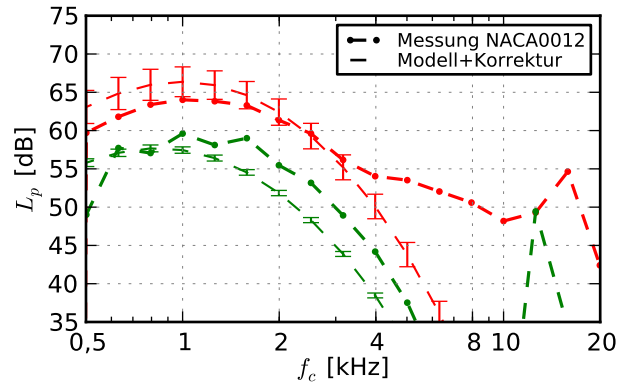


Bild 3: Schema des akustischen Messaufbaus im Windkanal



(a) Fläche, ebene Platte



(b) NACA0012-Profil (Modell mit Dickenkorrektur nach [5])

Bild 4: Vergleich zwischen Modell (Vierdrahtsonde) und Messung, $M = 0,12$ (■ homogene, isotrope, ■ inhomogene, anisotrope Turbulenz)

Zusammenfassung

Die Verwendbarkeit eines einfachen Modells für die Vorderkantenschallberechnung in anisotroper, inhomogener Zuströmturbulenz wurde systematisch experimentell untersucht. Es zeigte sich, dass sich bei einer ausreichenden Anzahl von Mittelungen brauchbare Ergebnisse erzielen lassen. Diese wurden mit den Ergebnissen von Mikrofonarraymessungen an einer ebenen Platte und einem NACA0012-Profil verglichen.

Literatur

- [1] Amiet, R. K., Acoustic Radiation from an Airfoil in a Turbulent Stream. *J Sound Vib* 41: 407 - 420 (1975)
- [2] Roach, P. W., The Generation of Nearly Isotropic Turbulence by Means of Grids. *J Heat Fluid Flow* 8 (2): 82 - 92 (1987)
- [3] Schenck, T. C., Messung der turbulenten Dissipationsrate in ebenen und achsensymmetrischen Nachlaufströmungen. Dissertation, Universität Erlangen Nürnberg (1999)
- [4] Sijtsma, P., CLEAN Based on Spatial Source Coherence. 13. AIAA/CEAS Aeroakustik-Konferenz, Rom, Italien, AIAA-Paper 2007-3436 (2007)
- [5] Gershfeld, J., Leading Edge Noise from Thick Foils in Turbulent Flows. *J Acoust Soc Am* 116 (3): 1416 - 1426 (2004)